

## 압력조절환기법와 용적조절환기법의 호흡역학 및 가스교환의 비교

충북대학교 의과대학 내과학교실

정성한, 최원준, 이정아, 김진아, 이문우, 신형식, 김미경, 최강현

= Abstract =

### Comparison of Respiratory Mechanics and Gas Exchange Between Pressure-controlled and Volume-controlled Ventilation

Seong Han Jeong, M.D., Won Jun Choi, M.D., Jung A Lee, M.D.,  
Jin A Kim, M.D., Mun Woo Lee, M.D., Hyoung Shik Shin, M.D.,  
Mi-Kyeong Kim, M.D., Kang Hyeon Choe, M.D.

*Department of Internal Medicine, College of Medicine,  
Chungbuk National University, Cheongju, Korea*

**Background :** Pressure-controlled ventilation (PCV) is frequently used recently as the initial mode of mechanical ventilation in the patients with respiratory failure. Theoretically, because of its high initial inspiratory flow, pressure-controlled ventilation has lower peak inspiratory pressure and improved gas exchange than volume-controlled ventilation (VCV). But the data from previous studies showed controversial results about the gas exchange. Moreover, the comparison study between PCV and VCV with various inspiration : expiration time ratios (I : E ratios) is rare. So this study was performed to compare the respiratory mechanics and gas exchange between PCV and VCV with various I : E ratios.

**Methods :** Nine patients receiving mechanical ventilation for respiratory failure were enrolled. They were ventilated by both PCV and VCV with various I : E ratios (1 : 2, 1 : 1.3 and 1.7 : 1).  $FiO_2$ , tidal volume, respiratory rate and external positive end-expiratory pressure (PEEP) were kept constant throughout the study. After 20 minutes of each ventilation mode, arterial blood gas, airway pressures, expired  $CO_2$  were measured.

**Results :** In both PCV and VCV, as the I : E ratio increased, the mean airway pressure was increased, and  $PaCO_2$  and physiologic dead space fraction were decreased. But  $P(A-a)O_2$  was not changed. In all three different I : E ratios, peak inspiratory pressure was lower during PCV, and mean airway pressure was higher during PCV. But  $PaCO_2$  level, physiologic dead space fraction and  $P(A-a)O_2$  were not different between PCV

and VCV with three different I : E ratios.

**Conclusion :** There was no difference in gas exchange between PCV and VCV under the same tidal volume, frequency and I : E ratio. (Tuberculosis and Respiratory Diseases 1999, 46 : 662-673)

**Key words :** Pressure-controlled ventilation, Airway pressure, Gas exchange, I : E ratio.

## 서 론

호흡부전증 환자에서 기계호흡 치료를 함에 있어 그동안 흔히 사용되었던 환기 양식은 용적조절환기법(volume-controlled ventilation, VCV)이었다. 이는 일회호흡용적(tidal volume)을 설정해 놓은 것으로서 기도압(airway pressure)은 기도 저항과 폐의 탄성률(elastic recoil)에 따라 이차적으로 변하게 된다<sup>1)</sup>. 그러나 최근에는 압력조절환기법(pressure-controlled ventilation, PCV)을 사용하는 추세이며, 이는 기도압을 설정하는 것으로 기도 저항에 따라 이차적으로 일회호흡용적이 결정되는 기계호흡 방식이다<sup>2,3)</sup>. PCV에서는 처음부터 설정된 값의 기도압을 유지하기 위하여 높은 기류(flow)를 필요로 하고 기도압이 유지됨에 따라 기류가 감소하는 decelerating flow를 사용하게 된다. 따라서 PCV는 높은 기류(high flow)가 흡기 초기에 제공되므로, 이론적으로 VCV에 비해 폐포압의 상승이 더 빠르므로 가스교환에 더 유리하리라 생각된다. 또한 PCV는 흡기 말기에는 기류가 적어지므로, 흡기 말기에도 기류가 존재하는 VCV에서보다 최고흡기압(peak inspiratory pressure)가 더 낮을 것으로 생각되며, 이는 그 동안 보고된 연구<sup>4-12)</sup>에서도 입증되어 있다. 그러나 이들 연구에서 가스 교환 측면에 대해서는 상반된 결과를 보고하고 있다.

자세히 살펴보면 PCV와 VCV의 가스교환에 대한 효과를 비교한 이러한 연구들은 연구마다 인공호흡기의 설정방법이 모두 달랐고, 호흡근 마비가 충분하지 않았던 경우도 있었으며, 후향적으로 분석한 연구도 있었다. 즉, 평균기도압을 일정하게 유지한 경우, 총호기말 양압(total PEEP)을 일정하게 유지하고 연구

한 경우, 그리고 VCV시 흡기정지(inspiratory pause)를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우 등, 연구 방법이 일정하지 않았기 때문에 상반된 결과를 얻었을 가능성이 있다. 또한 흡기-호기 시간비(I : E ratio)를 변화시키면서 PCV와 VCV의 가스교환 효과를 비교한 연구는 거의 없었다.

PCV와 VCV에서 I : E ratio가 적을 때는 평균폐포압이 PCV에서 더 크므로 가스교환에서 차이가 날 것이지만, 흡기정지를 사용하여 I : E ratio를 증가시키에 따라 평균폐포압의 차이가 상대적으로 감소하여 가스교환에서 차이가 나지 않을 가능성이 있다.

이에 저자들은 여러 가지 I : E ratio에서 PCV와 VCV시 호흡역학과 가스교환에 차이가 있는지와, 차이가 있다면 I : E ratio에 따라 차이가 발생하는지를 알아보고자 본 연구를 시행하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구대상

본원 중환자실에서 1998년 1월부터 1998년 8월까지 호흡부전으로 기계 호흡을 받은 환자 중에서 혈액학적으로 안정되고 기저 폐질환이 없는 9명의 환자를 대상으로 하였다. 9명의 환자들의 평균 연령은  $55 \pm 16$ 세였으며, 남자 8명, 여자 1명이었고 호흡부전의 원인으로는 급성 호흡곤란증후군(acute respiratory distress syndrome, ARDS) 6명, 급성폐손상 1명, 폐렴 2명이었다. 대상에 포함되기 전까지의 평균 기계호흡 치료 기간은  $11 \pm 6$ 일이었고, 특히 ARDS 환자에서는 ARDS 진단 후 평균  $3 \pm 1$ 일에 연구대상에 포함되었다. 대상 환자들의 기저 질환은 Table 1, 연

**Table 1.** Clinical characteristics of patients.

No.	Age	Sex	Underlying disease	Study day after respiratory failure
1	32	M	hydrocephalus, ARDS	5
2	59	M	sepsis, ARDS	3
3	70	F	acute renal failure, pneumonia	14
4	71	M	sepsis, ARDS	2
5	42	M	advanced gastric cancer, ALI	3
6	61	M	diabetes mellitus, ARDS	4
7	44	M	liver cirrhosis, ARDS	4
8	40	M	mutiple organ failure, pneumonia	6
9	70	M	liver cirrhosis, ARDS	2

ARDS : acute respiratory distress syndrome

ALI : acute lung injury

**Table 2.** Initial respiratory states of patients.

No.	FiO <sub>2</sub>	PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	PaO <sub>2</sub> (mmHg)	PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg)	compliance* (ml/H <sub>2</sub> O)
1	0.4	36.9	51.6	129	72.6
2	0.6	52.7	84.2	140	26.7
3	0.25	24	114.7	459	28.2
4	0.6	36.4	99	165	36.3
5	0.35	50.8	90.9	259	8.8
6	0.4	52.1	62.5	156	23.3
7	0.7	31.5	63.6	91	30.1
8	0.35	28.2	105.6	301	26.0
9	0.7	47	57.1	82	30.4

\*compliance of total respiratory system

구대상에 포함될 당시의 호흡상태는 Table 2와 같다.

## 2. 연구 방법

인공호흡기는 servo900C(Simens, Sweden)를 사용하였고, 각각의 환자에서 흡기산소농도(FiO<sub>2</sub>), 호흡수, 일회호흡용적, 외부 호기말양압(external PEEP), trigger sensitivity(-2 cmH<sub>2</sub>O)를 일정하게

유지하면서 PCV과 VCV간의 호흡역학과 가스교환을 비교하였다. PCV과 VCV의 비교는 흡기정지 시간을 변화시켜 I : E ratio 1 : 2(inspiration time 33% + pause time 0%), 1 : 1.3(inspiration time 33% + pause time 10%) 및 1.7 : 1(inspiration time 33% + pause time 30%)로 변화시키면서 기도압, 동맥혈 가스분석, 호기말 이산화탄소분압(end-tidal CO<sub>2</sub> tension, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>), mixed expired CO<sub>2</sub> tension

**Table 3.** Change in blood pressure and heart rate.

	I : E ratio	PCV	VCV	p-value
Systolic BP (mmHg)	1 : 2	105 ± 22	102 ± 22	NS
	1 : 1.3	96 ± 17	98 ± 18	NS
	1.7 : 1	101 ± 19	101 ± 16	NS
Diastolic BP (mmHg)	1 : 2	66 ± 10	64 ± 10	NS
	1 : 1.3	59 ± 8	61 ± 9	NS
	1.7 : 1	63 ± 9	59 ± 8	NS
Heart rate (beats/min)	1 : 2	99 ± 17	98 ± 16	NS
	1 : 1.3	99 ± 15	97 ± 16	NS
	1.7 : 1	97 ± 16	97 ± 15	NS

NS : not significant

( $P_{\text{E}}\text{CO}_2$ )를 측정하였다. 연구 전에 환자들의 호흡노력을 제거하기 위해 midazolam, vecuronium bromide, atracurium besylate를 이용하여 충분한 진정 (sedation)과 호흡근을 마비시켜 controlled mandatory ventilation이 되게 하였다. I : E ratio의 순서는 무작위로 하였으며 같은 I : E ratio에서는 PCV를 먼저 선택하여 tidal volume이 8-10ml/Kg이 되도록 하였다.  $\text{FiO}_2$ 와 PEEP은  $\text{PaO}_2$ 가 60-80mmHg가 되도록 설정하였고, 15회 호흡 동안 최고흡기압(peak inspiratory pressure, PIP), 평균기도압, 일회호흡용적을 측정하여 평균값을 구하였고, 설정 완료 20분 후에 동맥혈 가스분석과 혈압, 심박수, 호흡수,  $\text{PETCO}_2$ ,  $\text{PECO}_2$ 를 측정하였다.  $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 의 측정은 인공호흡기 circuit의 Y-connector부위에 관을 연결하여 capnograph AGM-103 (Datex, Finland)으로 측정하였고,  $\text{P}_{\text{E}}\text{CO}_2$ 는 인공호흡기에서 나오는 호기가스를 10L chamber에 모아 여기서 나오는 가스를 capnograph로 측정하였다.  $\text{P}_{\text{E}}\text{CO}_2$ 를 측정하여 Bohr equation<sup>13)</sup>을 이용하여 생리적 사강 (physiologic dead space)을 계산하였다.

### 3. 통계처리

통계 처리는 paired student t-test를 시행하였고, p

<0.05일 경우 통계적 유의성이 있다고 판정하였다.

## 결 과

### 1. 혈액학적 변화

연구기간동안 변화시키지 않은 인공호흡기 변수는  $\text{FiO}_2$   $0.48 \pm 0.17$ , 일회호흡용적  $548 \pm 69\text{ml}$ , 호흡수  $15.7 \pm 3.3$  회/분, external PEEP  $6.9 \pm 5.9\text{cmH}_2\text{O}$  였다.

각각의 I : E ratio에서 수축기 혈압, 이완기 혈압 및 심박수는 PCV과 VCV간에 차이가 없었다 (Table 3).

### 2. 호흡역학

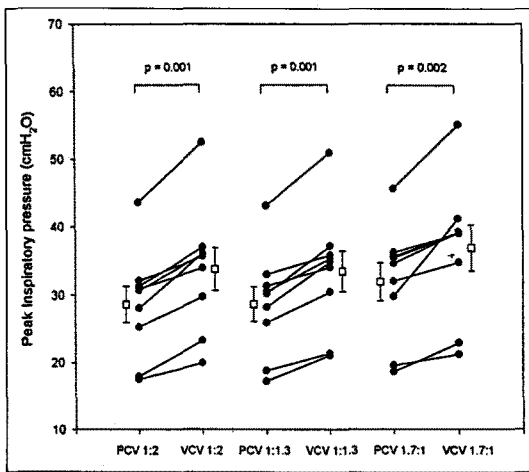
최고흡기압은 I : E ratio 1 : 2에서 PCV의 경우  $28.6 \pm 7.9\text{cmH}_2\text{O}$ , VCV의 경우  $33.8 \pm 9.3\text{cmH}_2\text{O}$ , I : E ratio 1 : 1.3에서 각각  $28.8 \pm 7.8\text{cmH}_2\text{O}$ 와  $33.5 \pm 8.9\text{cmH}_2\text{O}$ , I : E ratio 1.7 : 1에서는 각각  $31.9 \pm 8.4\text{cmH}_2\text{O}$ 와  $36.8 \pm 10.0\text{cmH}_2\text{O}$ 로 모든 I : E ratio에서 VCV에 비해 PCV시 낮았다(Table 4, Fig. 1).

평균기도압은 I : E ratio 1 : 2에서 PCV의 경우

**Table 4.** Change in peak airway pressure and mean airway pressure.

	I : E ratio	PCV	VCV	p-value
PIP (cmH <sub>2</sub> O)	1 : 2	28.6 ± 7.9	33.8 ± 9.3	0.001
	1 : 1.3	28.6 ± 7.8	33.5 ± 8.9	0.001
	1.7 : 1	31.9 ± 8.4	36.8 ± 10.0	0.002
Pmean (cmH <sub>2</sub> O)	1 : 2	14.0 ± 4.9	12.8 ± 5.0	0.001
	1 : 1.3	16.0 ± 5.0	14.5 ± 5.0	0.006
	1.7 : 1	22.3 ± 6.1	20.6 ± 5.8	0.004

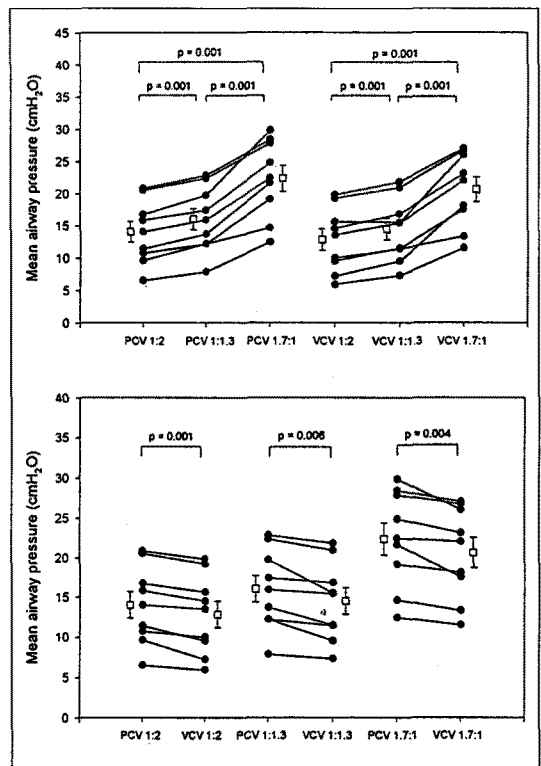
PIP : peak inspiratory pressure, Pmean : mean airway pressure



**Fig. 1.** Change in peak inspiratory pressure.

14.0 ± 4.9 cmH<sub>2</sub>O, VCV의 경우 12.8 ± 5.0 cmH<sub>2</sub>O, I : E ratio 1 : 1.3에서 각각 16.0 ± 5.0 cmH<sub>2</sub>O와 14.5 ± 5.0 cmH<sub>2</sub>O, I : E ratio 1.7 : 1에서는 각각 22.3 ± 6.1 cmH<sub>2</sub>O와 20.6 ± 5.8 cmH<sub>2</sub>O로 PCV과 VCV 모두에서 I : E ratio를 증가시킬수록 증가하였으며, 각각의 I : E ratio에서 VCV에 비해 PCV시 더 높았다(Table 4, Fig. 2).

생리적 사강은 기계에 문제가 발생하여 5명의 환자에게서만 측정할 수 있었으며, I : E ratio가 증가할수록 PCV, VCV 모두에서 유의하게 감소하였으나, 각각의 I : E ratio에서 PCV와 VCV간의 차이를 보이지 않았다.(Table 5, Fig. 3)



**Fig. 2.** Change in mean airway pressure.

### 3. 가스교환

동맥혈 pH는 각각의 I : E ratio에서 PCV과 VCV 간에 차이가 없었다.(Table 6).

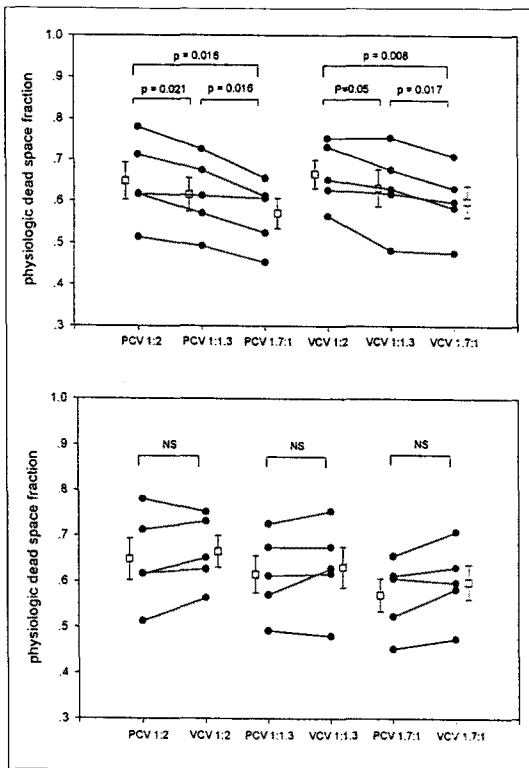
PaCO<sub>2</sub>는 I : E ratio 1 : 2에서 PCV의 경우 41.2

**Table 5.** Change in physiologic dead space fraction.

	I : E ratio	PCV	VCV	p-value
VD/VTphy	1 : 2	0.64 ± 0.10	0.67 ± 0.07	NS
	1 : 1.3	0.61 ± 0.09	0.63 ± 0.09	NS
	1.7 : 1	0.57 ± 0.08	0.59 ± 0.08	NS

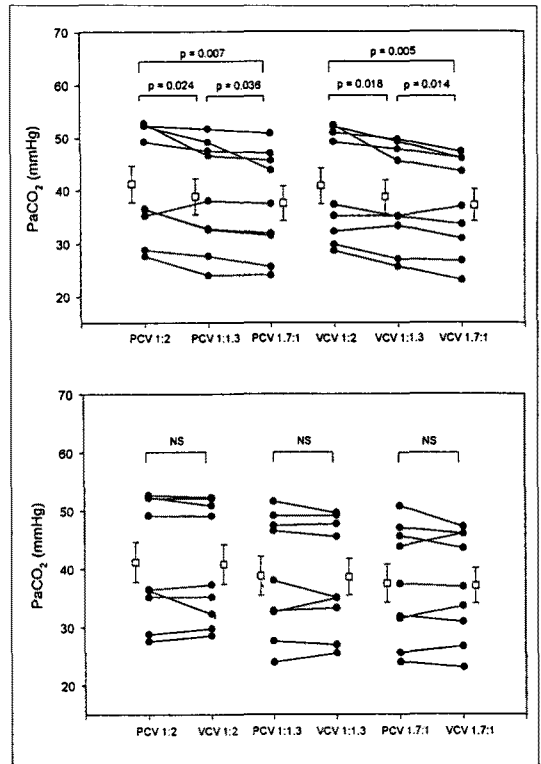
VD/VTphy : physiologic dead space fraction

NS : not significant



**Fig. 3.** Change in physiologic dead space fraction.

± 10.4 mmHg, VCV의 경우 40.8 ± 10.1 mmHg, I : E ratio 1 : 1.3에서 각각 38.8 ± 10.1 mmHg와 38.7 ± 9.5 mmHg, I : E ratio 1.7 : 1에서는 각각 37.5 ± 9.8 mmHg와 37.1 ± 9.1 mmHg로 PCV와 VCV 모두에서 I : E ratio가 증가할수록 감소하였으나, 각각의 I : E ratio에서 PCV와 VCV간의 차이는 없었다(Table 6, Fig. 4).



**Fig. 4.** Change in PaCO<sub>2</sub>

PaO<sub>2</sub>는 I : E ratio 1 : 2에서 PCV의 경우 90.7 ± 17.9 mmHg, VCV의 경우 93.0 ± 19.9 mmHg, I : E ratio 1 : 1.3에서 각각 99.3 ± 24.1 mmHg와 96.8 ± 20.8 mmHg, I : E ratio 1.7 : 1에서는 각각 98.5 ± 49.1 mmHg와 100.2 ± 42.1 mmHg로 PCV와 VCV 모두에서 I : E ratio 1 : 2에서 보다 1 : 1.3, 1.7 : 1에서 유의하게 증가하였으나, 각각의 I : E ratio에서 PCV와 VCV간의 차이는 없었다(Table 6).

Table 6. Change in arterial blood gas.

	I : E ratio	PCV	VCV	p-value
pH	1 : 2	7.35 ± 0.07	7.35 ± 0.07	NS
	1 : 1.3	7.36 ± 0.06	7.36 ± 0.07	NS
	1.7 : 1	7.37 ± 0.07	7.37 ± 0.07	NS
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	1 : 2	41.2 ± 10.4	40.8 ± 10.1	NS
	1 : 1.3	38.8 ± 10.1	38.7 ± 9.5	NS
	1.7 : 1	37.5 ± 9.8	37.1 ± 9.1	NS
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	1 : 2	90.7 ± 17.9	93.0 ± 19.9	NS
	1 : 1.3	99.3 ± 24.1	96.8 ± 20.8	NS
	1.7 : 1	98.5 ± 49.1	100.2 ± 42.1	NS
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg)	1 : 2	215 ± 112	223 ± 121	NS
	1 : 1.3	236 ± 122	234 ± 132	NS
	1.7 : 1	230 ± 130	238 ± 139	NS
P(A-a)O <sub>2</sub> (mmHg)	1 : 2	202 ± 120	201 ± 123	NS
	1 : 1.3	197 ± 123	199 ± 127	NS
	1.7 : 1	199 ± 127	187 ± 128	NS

NS : not significant

PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>는 PCV과 VCV모두에서 I : E ratio 변동에 따른 차이는 보였으나, 각각의 I : E ratio에서 PCV와 VCV간의 차이는 보이지 않았다(Table 6, Fig. 5).

P(A-a)O<sub>2</sub>는 PCV과 VCV모두에서 I : E ratio를 증가시켜도 변동이 없었고, 각각의 I : E ratio에서 PCV과 VCV에서의 차이도 없었다(Table 6, Fig. 6).

### 고 찰

일회호흡량을 일정하게 설정하면 기도저항과 폐 탄성률(elastic recoil)에 따라 기도압이 변하게 되는 VCV와는 달리, PCV은 일정한 기도압을 설정하면 기도저항과 폐탄성률에 따라 일회호흡용적이 결정된다. 최근에, 특히 ARDS환자에서는 폐의 압력손상을 줄이기 위해 기도압을 낮고 일정하게 유지시킬 수 있으며, 평균기도압을 높여 가스 교환에 유리하리라 여

겨지는 PCV이 선호되고 있다.

그러나, PCV이 VCV에 비해 최고호흡압을 낮게 유지하며 평균기도압을 높게 유지할 수 있다는 것에 대해서는 대부분의 보고가 일치하고 있으나<sup>4-12)</sup> 가스 교환에 있어서는 PCV이 유리하다는 보고도 있으며<sup>4-8)</sup> 두 환기 양식에 차이가 없다는 보고도 있다<sup>9-12)</sup>. Abraham 등<sup>4)</sup>은 10명의 호흡부전 환자에게 일회호흡용적, 호흡수, I : E ratio(1 : 2), auto PEEP을 일정하게 유지하여 PCV과 VCV을 비교하였을 때, PCV시 동맥혈 산소분압(PaO<sub>2</sub>)과 산소운반(oxygen delivery)이 더 높았다고 보고하였고, Armstrong 등<sup>5)</sup>은 14명의 ARDS 환자에서 일회호흡용적과 호흡수를 같게 유지하고 inverse ratio PCV과 conventional ratio VCV을 비교하여, 동맥혈 이산화탄소 분압(PaCO<sub>2</sub>)은 차이가 없었으나 PCV에서 PaO<sub>2</sub>가 증가함을 보고하였다. Lain 등<sup>6)</sup>은 19명의 ARDS 환자에서 VCV에서 inverse ratio PCV로 바꾸었을 때, PaCO<sub>2</sub>를 같게 유지하기 위해 필요한

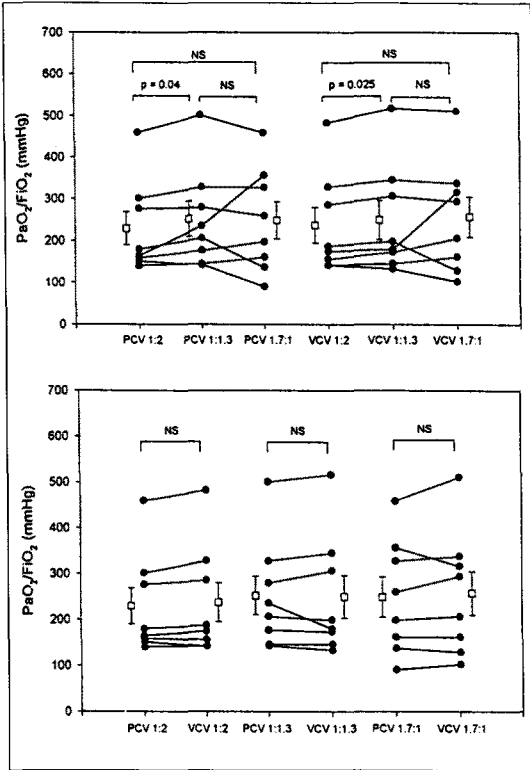


Fig. 5. Change in PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>

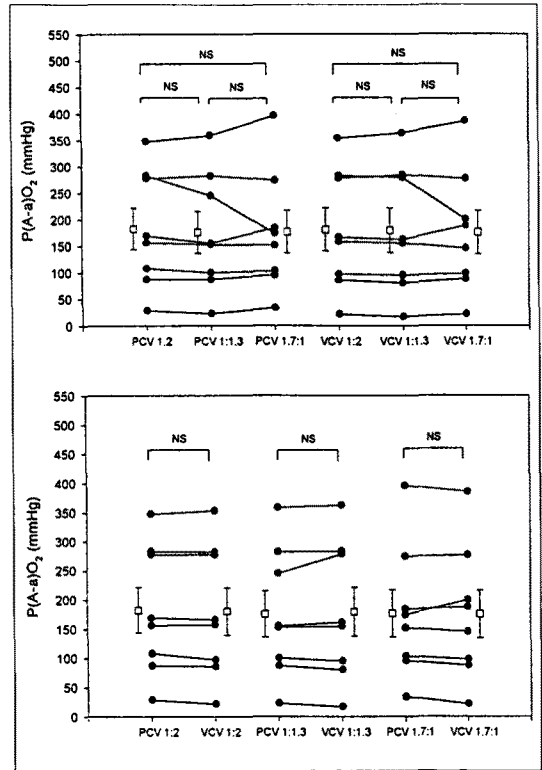


Fig. 6. Change in P(A-a)O<sub>2</sub>

FiO<sub>2</sub> 및 PEEP을 줄일 수 있음을 관찰하고 PCV이 VCV에 비해 가스교환에서 이점이 있다고 보고하였다. Tharratt 등<sup>7)</sup>은 VCV으로 적절한 효과를 얻지 못한 31명의 심한 호흡부전 환자에게서 inverse ratio PCV를 적용하였을 경우 최고흡기압이 감소하고, 평균기도압이 증가하였으며, 동맥혈 산소분압이 증가하여 분당호흡량과 PEEP을 줄일 수 있었다고 보고하였고, Davis 등<sup>8)</sup>은 25명의 급성 폐손상 (acute lung injury) 환자를 대상으로 일회호흡용적, PEEP, I : E ratio를 일정하게 유지하면서 constant flow를 사용하는 VCV, decelerating flow를 사용하는 VCV 및 PCV를 비교하여, PCV과 decelerating flow를 사용하는 VCV에서 constant flow를 사용하는 VCV보다 최고흡기압이 낮았고, 평균기도압이 높았으며 동맥혈 산소분압이 높았다고 보고하면서 decelerating flow의 장점을 강조하였다.

반면, Mancebo 등<sup>9)</sup>은 ARDS 환자에서 PEEP을 사용한 VCV과 total PEEP을 같게 유지한 inverse ratio PCV를 적용하였을 때, VCV시 평균기도압이 약간 낮았지만 동맥혈 산소분압, 동맥혈 이산화탄소 분압, 단락율(shunt fraction) 및 심박출량에는 차이가 없었다고 보고하였다. Mang 등<sup>10)</sup>은 폐손상을 유발시킨 양 모델에서 PCV과 VCV을 비교하였는데, 평균기도압을 일정하게 유지하기 위해 VCV시 PEEP을 사용하였다. 이 연구에서는 I : E ratio를 여러 가지로 바꾸어 시도를 하였으나, 각각의 I : E ratio에서 PCV과 VCV간의 혈역학적 및 가스교환에서의 차이를 보이지는 않았다. 또한 Lessard 등<sup>11)</sup>은 9명의 ARDS 환자에서 일회호흡용적, 호흡수 및 total PEEP을 일정하게 유지하면서 VCV(I : E ratio 1 : 2), PCV(I : E ratio 1 : 2), PCV(I : E ratio 2 : 1), PCV(I : E ratio 3 : 1)로 적용시켰을



때, PCV나 inverse ratio PCV 모두 VCV와 가스교환에 있어서 차이를 발견하지 못하였고, 오히려 PCV (I : E ratio 3 : 1)에서는 동맥혈 산소분압이 감소하였다고 보고하였다. Ludwigs 등<sup>12)</sup>은 15 마리의 돼지에서 VCV(I : E ratio 1 : 2), VCV(I : E ratio 4 : 1), PCV(I : E ratio 4 : 1)을 적용하였을 때, PCV(I : E ratio 4 : 1)에서 오히려 산소운반이 악화되었다고 보고하였다.

이와 같이 여러 연구에서 PCV와 VCV간의 가스교환에 있어서 상반된 결과를 보고하고 있는데, 연구 방법을 살펴보면 일정하게 유지시키는 변수들이 연구마다 달랐음을 알 수 있다. 일회호흡용적과 호흡수는 일정하게 유지하였지만, auto-PEEP을 같게 유지하기 위해 I : E ratio를 변화시킨 연구<sup>4)</sup>, 후향적으로 자료를 모집한 연구<sup>5)</sup>, 동맥혈 이산화탄소 분압을 같게 유지하기 위해 FiO<sub>2</sub>, PEEP을 변화시킨 연구<sup>6)</sup>, VCV시 흡기정지를 사용한 것<sup>11)</sup>과 사용하지 않은 연구<sup>4)</sup>, 평균기도압을 같게 유지하기 위해 PEEP을 사용한 연구<sup>10)</sup>, total PEEP을 같게 유지한 연구<sup>9)</sup> 등 각각의 연구에서 인공호흡기의 설정이 같지 않았다는 것이다.

따라서 본 연구는 이러한 요소들을 배제하기 위해 흡기 산소농도, 일회호흡용적, 호흡수 및 external PEEP은 변화시키지 않았고, PCV와 VCV에서 각각의 I : E ratio를 3가지로 변화시키면서 연구를 하였다. 평균기도압은 oxygenation과 환기 효율(ventilatory efficacy)을 반영하는 지표로 흔히 쓰이고 있으므로<sup>14,15)</sup> 평균기도압을 일정하게 유지하고 연구를 한다면, 기류의 양상 한가지 만으로의 효과를 보기 어렵기 때문에 평균기도압을 일정하게 유지하지는 않았다.

본 연구의 결과에서 최고흡기압은 각각의 I : E ratio에서 PCV시 VCV보다 낮게 측정이 되었으며 이는 그 동안의 보고들과 일치하는 결과였다. 흡기 말기의 기도압은 폐의 탄성률(elastic recoil)을 극복해야 하는 압력과 기도 저항을 극복해야 하는 압력으로 나뉘어 질 수 있으며<sup>2,16,17)</sup>, PCV시 흡기 초기에 높은 기류가 공급되고 흡기 말기에는 기류가 거의 없어지므로 기도 저항을 극복해야 하는 압력이 필요 없게 되

로, 흡기 후반에도 기류가 존재하는 VCV에 비해 최고흡기압이 낮을 것으로 생각된다. 평균기도압은 I : E ratio를 증가시킬수록 PCV, VCV 모두에서 증가하였고, 이는 흡기정지를 사용하여 공기가 기도와 폐포에 머무는 시간을 증가시켰기 때문이다. 각각의 I : E ratio에서 PCV시 평균기도압이 더 높았으며, 이는 흡기 초반부터 높은 기도 압력을 유지하기 때문에 기도 압력이 서서히 증가하는 VCV보다 평균기도압이 더 높은 것으로 여겨진다. 동맥혈 이산화탄소 분압과 생리적 사강은 PCV, VCV 모두에서 I : E ratio를 증가시키에 따라 감소하였으며, 이는 평균기도압의 상승으로 환기 효율이 호전되어 나타난 결과로 사료된다. 그러나 각각의 I : E ratio에서 PCV와 VCV간의 동맥혈 이산화탄소 분압과 생리적 사강은 차이가 없었다. PCV에서 평균기도압이 VCV에 비해 높았지만 동맥혈 이산화탄소 분압에서는 차이가 나지 않은 이유는 분당환기량이 일정했기 때문으로 사료된다. 평균기도압이 평균폐포압을 비교적 잘 반영한다고는 하지만<sup>14-16)</sup>, 평균폐포압에는 흡기시 기도저항을 극복해야 하는 압력이 포함되지 않고, 평균기도압에는 호기시 기도 저항을 극복해야 하는 압력과, auto-PEEP도 포함되지 않는다<sup>19,20)</sup>. 따라서 흡기와 호기시의 기도 저항이 다르다면 평균기도압과 평균폐포압은 차이가 날 수 있고<sup>19,20)</sup>, 실제로 Valta 등<sup>21)</sup>은 auto-PEEP이 존재하는 12명의 환자를 대상으로 auto-PEEP이 클수록 평균기도압과 평균폐포압의 차이가 커지는 것을 증명하였다. 본 연구에서도 PCV에서 평균기도압이 높았지만 실제로는 평균폐포압은 차이가 없었을 수도 있으며, 차이가 나더라도 가스교환에 영향을 미칠 정도는 아니었을 것으로 추측할 수 있겠다. 동맥혈 산소분압도 PCV와 VCV에서 차이가 나지 않은 것도 같은 맥락에서 생각해 볼 수 있을 것이다.

동맥혈 산소분압이 PCV와 VCV 모두에서 I : E ratio 1 : 2에서보다 1 : 1.3에서 증가하였으나 1.7 : 1에서는 더 이상 증가하지 않았는데, 이는 평균기도압이 증가하면서 흉곽 내압(intrathoracic pressure)이 증가하고, 따라서 우심방으로의 정맥 환류(ve-

nous return)가 감소하여 심박출량이 감소하였기 때문으로 사료된다. 정상적인 폐를 지닌 사람에서는 심박출량이 소량으로 감소하더라도 동맥혈 산소분압에 미치는 영향이 없겠으나, 폐 질환으로 oxygenation에 장애가 있는 경우에는 심박출량이 감소함에 따라 혼합 정맥혈 산소분압(mixed venous oxygen tension)이 감소하면 동맥혈 산소분압에도 영향을 주게 될 것이기 때문이다.

자료를 제시하지는 않았지만 본 연구에서 9명 중 3명에서 I : E ratio를 증가시킴에 따라 auto-PEEP이 발생하였다. 그러나 PCV와 VCV간에 auto-PEEP의 차이는 없었다.

본 연구의 결과에서 PCV와 VCV간에 가스교환에는 차이는 없었으나, 동일한 일회호흡용적을 얻는데 PCV를 사용할 경우 VCV보다 최고 흡기압이 낮고 또한 일정하게 유지할 수 있으므로 ARDS를 포함한 급성호흡부전 환자에서 PCV가 권장될 만한 환기양식으로 사료된다. 향후 생리학적으로는 평균 기도압과 평균폐포압의 관계에 대한 연구가 필요할 것으로 여겨지며, 임상적으로는 장기적인 효과와 생존률에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 요 약

### 연구배경 :

Pressure-controlled ventilation(PCV)은 최근 호흡부전 환자에게서 자주 사용되는 환기방식이다. 이론적으로 PCV은 초기에 높은 기류를 제공하므로 volume-controlled ventilation(VCV)에 비해 최고흡기압이 낮고 가스교환에 이점이 있을 것으로 사료된다. 그러나 PCV에서 최고흡기압이 낮은 것에 대해서는 대부분의 보고가 일치하고 있으나 가스교환에 대해서는 상반된 결과를 보고하고 있다. 따라서 본 연구는 호흡부전 환자에서 PCV와 VCV간의 호흡역학과 가스교환의 비교 및 I : E ratio의 변동에 따른 차이가 있는지를 알아보고자 본 연구를 시행하였다.

### 방 법 :

호흡부전으로 기계호흡을 받고 있는 9명의 환자를 대상으로 하였다. 각 대상환자에서 흡기산소농도, 일회호흡용적, 호흡수 및 호기말양압은 변화시키지 않고, PCV와 VCV을 번갈아 적용하고 I : E ratio를 1 : 2, 1 : 1.3 및 1.7 : 1로 변화시키면서 기도압과 동맥혈 가스분석, 호기 이산화탄소 농도를 측정하여 PCV와 VCV간의 호흡역학과 가스교환을 비교하였다.

### 결 과 :

PCV와 VCV 모두에서 I : E ratio를 증가시킴에 따라 평균기도압이 증가하였고, PaCO<sub>2</sub>와 생리적 사강이 감소하였다. 그러나 P(A-a)O<sub>2</sub>는 변하지 않았다.

각각의 I : E ratio 모두에서 최고흡기압은 PCV시 더 낮았으며, 평균기도압은 PCV에서 더 높았다. 그러나 PaCO<sub>2</sub>, 생리적 사강 및 P(A-a)O<sub>2</sub>는 PCV와 VCV간의 차이를 보이지 않았다.

### 결 론 :

동일한 일회호흡용적, 호흡수 및 I : E ratio 상태에서는 두 환기 양식의 차이에 따른 가스교환의 차이가 없었다.

## 참 고 문 헌

1. Hubmayr RD. Chapter 6, Setting the ventilator, in Tobin MJ(Ed.) Principles and practices of mechanical ventilation, p191, New York, McGraw-Hill, 1994
2. Chatburn RL. Chapter 2, Classification of mechanical ventilators, in Tobin MJ(Ed.) Principles and practices of mechanical ventilation, p37, New York, McGraw-Hill, 1994
3. Marini JJ. Chapter 11, Pressure-controlled ventilation, in Tobin MJ(Ed.) Principles and practices of mechanical ventilation, p305, New York, McGraw-Hill, 1994
4. Abraham E, Yoshihara G. Cardiorespiratory effects of pressure controlled ventilation in severe

- respiratory failure. *Chest* 98(6) : 1445, 1990
5. Armstrong BW Jr, MacIntyre NR. Pressure-controlled, inverse ratio ventilation that avoids air trapping in the adult respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 23(2) : 279, 1995
  6. Lain DC, DiBenedetto R, Morris SL, Van Nguyen A, Saulters R, Causey D. Pressure control inverse ratio ventilation as a method to reduce peak inspiratory pressure and provide adequate ventilation and oxygenation. *Chest* 95(5) : 1081, 1989
  7. Tharratt RS, Allen RP, Albertson TE. Pressure controlled inverse ratio ventilation in severe adult respiratory failure. *Chest* 94(4) : 755, 1988
  8. Davis K Jr, Branson RD, Campbell RS, Porembka DT. Comparison of volume control and pressure control ventilation : is flow waveform the difference? *J Trauma* 41(5) : 808, 1996
  9. Mancebo J, Vallverdu I, Bak E, Dominguez G, Subirana M, Benito S, Net A. Volume-controlled ventilation and pressure-controlled inverse ratio ventilation : a comparison of their effect in ARDS patients. *Monaldi Arch Chest Dis* 49(3) : 201, 1994
  10. Mang H, Kacmarek RM, Ritz R, Wilson RS, Kimball WP. Cardiorespiratory effects of volume- and pressure-controlled ventilation at various I/E ratios in an acute lung injury model. *Am J Respir Crit Care Med* 151 : 731, 1995
  11. Lessard MR, Guerot E, Lorino H, Lemaire F, Brochard L. Effects of pressure-controlled with different I : E ratios versus volume-controlled ventilation on respiratory mechanics, gas exchange, and hemodynamics in patients with adult respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 80 (5) : 983, 1994
  12. Ludwigs U, Klingstedt C, Baehrendtz S, Hedenstierna G. A comparison of pressure- and volume-controlled ventilation at different inspiratory to expiratory ratios. *Acta Anaesthesiol Scand* 41 : 71, 1997
  13. Nunn JF. Chapter 8, Distribution of pulmonary ventilation and perfusion, in Nunn JF(4th Ed.) *Nunn's applied respiratory physiology*, p156, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1993
  14. Tobin MJ, Van De Graaff WB : Chapter 44, Monitoring of lung mechanics and work of breathing, in Tobin MJ(Ed.) *Principles and practices of mechanical ventilation*, p967, New York, McGraw-Hill, 1994
  15. Ciszek TA, Modanlou HD, Owings D, Nelson P. Mean airway pressure—significance during mechanical ventilation in neonates. *J Pediatr* 1981 Jul ; 99(1) : 121
  16. Marcy TW, Marini JJ : Chapter 7, Controlled mechanical ventilation and assist/control ventilation, in Perel A and Stock MC(Ed.) *Handbook of mechanical ventilatory support*, p 81, Baltimore, Williams & Wilkins, 1992
  17. McKibben AW, Ravenscraft SA. Pressure-controlled and volume-cycled mechanical ventilation. *Clin Chest Med* 17(3) : 395, 1996
  18. Fuhrman BP, Smith-Wright DL, Venkataraman S, Orr RA, Howland DF. Proximal mean airway pressure : a good estimator of mean alveolar pressure during continuous positive-pressure breathing. *Crit Care Med* 1989 Jul ; 17(7) : 666
  19. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure : Physiologic determinants and clinical importance. Part 1 : Physiologic determinants and measurements. *Crit Care Med* 20(10) : 1461, 1992

20. Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure : Physiologic determinants and clinical importance. Part 2 : Clinical implications. *Crit Care Med* 20(11) : 1604, 1992
21. Valta P, Corbeil C, Chasse M, Braidy J, Milic-Emili J. Mean airway pressure as an index of mean alveolar pressure. *Am J Respir Crit Care Med*. 153 : 1825, 1996